

**Irrigação com Água Produzida:  
Efeitos sobre Características do Solo  
e a Produção do Girassol**



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Agroindústria Tropical  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 120***

## **Irrigação com Água Produzida: Efeitos sobre Características do Solo e a Produção do Girassol**

*Lindbergue Araujo Crisostomo*

*Olmar Baller Weber*

*Fábio Rodrigues de Miranda*

*Fernando Antônio Souza de Aragão*

*Maria Elisabeth Barros de Oliveira*

**Embrapa Agroindústria Tropical**

Fortaleza, CE

2016

**Unidade responsável pelo conteúdo e edição:**

Embrapa Agroindústria Tropical  
Rua Dra. Sara Mesquita 2270, Pici  
CEP 60511-110 Fortaleza, CE  
Fone: (85) 3391-7100  
Fax: (85) 3391-7109  
www.embrapa.br/agroindustria-tropical  
www.embrapa.br/fale-conosco

**Comitê de Publicações da Embrapa Agroindústria Tropical**

Presidente: *Gustavo Adolfo Saavedra Pinto*

Secretária-executiva: *Celli Rodrigues Muniz*

Secretária-administrativa: *Eveline de Castro Menezes*

Membros: *Janice Ribeiro Lima, Marlos Alves Bezerra, Luiz Augusto Lopes Serrano,  
Marlon Vagner Valentim Martins, Guilherme Julião Zocolo, Rita de Cássia  
Costa Cid, Eliana Sousa Ximendes*

Supervisão editorial: *Sérgio César de França Fuck Júnior*

Revisão de texto: *Marcos Antônio Nakayama*

Normalização: *Rita de Cassia Costa Cid*

Foto da capa: *Olmar Baller Weber*

Editoração eletrônica: *Arilo Nobre de Oliveira*

**1ª edição**

On-line (2016)

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Agroindústria Tropical

---

Irrigação com água produzida: efeitos sobre características do solo e a produção do girassol / Lindbergue Araujo Crisóstomo... [et al.]. – Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2016.

35 p. ; 15 cm x 21 cm. – (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Agroindústria Tropical, ISSN 1679-6543; 120).

Publicação disponibilizada on-line no formato PDF.

1. *Helianthus annuus*. 2. Sodiedade. 3. Salinização. I. Crisostomo, Lindbergue Araujo. II. Weber, Olmar Baller. III. Miranda, Fábio Rodrigues de. IV. Aragão, Fernando Antônio Souza de. V. Oliveira, Maria Elisabeth Barros de. VI. Série.

CDD 628.161

# Sumário

<b>Resumo .....</b>	<b>4</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>6</b>
<b>Introdução.....</b>	<b>8</b>
<b>Material e Métodos.....</b>	<b>10</b>
<b>Resultados e Discussão.....</b>	<b>14</b>
<b>Conclusões.....</b>	<b>31</b>
<b>Agradecimentos .....</b>	<b>31</b>
<b>Referências .....</b>	<b>32</b>

# **Irrigação com Água Produzida: Efeitos sobre Características do Solo e a Produção do Girassol**

---

***Lindbergue Araujo Crisostomo<sup>1</sup>***

***Olmar Baller Weber<sup>2</sup>***

***Fábio Rodrigues de Miranda<sup>3</sup>***

***Fernando Antônio Souza de Aragão<sup>4</sup>***

***Maria Elisabeth Barros de Oliveira<sup>5</sup>***

## **Resumo**

A exploração de petróleo na Bacia Potiguar, abrangendo segmentos dos estados do Rio Grande do Norte e Ceará, gera expressivos volumes de água produzida (oriunda das formações geológicas que contêm petróleo e gás). Uma vez tratada na planta industrial, essa água pode vir a ser utilizada na agricultura. Neste trabalho, foram avaliados os efeitos de diferentes águas de irrigação sobre as características do solo e o desempenho da cultura do girassol oleífero 'BRS 321'. Durante três ciclos sucessivos de produção da cultura, aplicaram-se lâminas adequadas de águas produzidas tratadas por dois sistemas, filtração (APF) e osmose reversa (APO), e da água natural do subsolo local, captada do aquífero Açu (ACA). Nos diferentes tipos de água utilizada,

---

<sup>1</sup> Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Química Agrícola e Solos, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, lindbergue.crisostomo@embrapa.br

<sup>2</sup> Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, olmar.weber@embrapa.br

<sup>3</sup> Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Engenharia de Biosistemas, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, fabio.miranda@embrapa.br

<sup>4</sup> Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Melhoramento Genético Vegetal, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, fernando.aragao@embrapa.br

<sup>5</sup> Engenheira-química, D.Sc. em Nutrição, pesquisadora da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, elisabeth.barros@embrapa.br

não se detectou risco relacionado à presença de hidrocarbonetos tóxicos; contudo, observaram-se variações quantitativas de sais. A irrigação com água produzida filtrada (APF) aumentou o risco de salinização e sodificação do solo, propiciando valores mais altos de CEes nas camadas de solo estudadas (0 cm a 100 cm), além de tender a aumentar a porcentagem de sódio trocável (PST) e a razão de adsorção de sódio (RAS). Ambas as águas produzidas, APF e APO, afetaram negativamente os atributos biológicos do solo. A utilização das águas produzidas APF e APO não interferiram negativamente na produção do girassol 'BRS 321', quando comparadas ao cultivo irrigado com água natural do subsolo da região.

Termos para indexação: *Helianthus annuus*, sodicidade, salinização.

# Irrigation with Produced Water: Effects on Soil Characteristics and Sunflower Production

## Abstract

*The oil exploration in the Potiguar Basin, comprising onshore and offshore segments alongside Rio Grande do Norte and Ceará states, generates high volumes of produced water (derived from geological formations containing oil and gas). With its treatment in industrial plant, this water might be used in agriculture. In this study, it was evaluated the effects of different irrigation water on soil characteristics and the sunflower (BRS 321) crop performance. For three successive production cycles, suitable blades of produced water have been applied, one treated by filtration and another treated by reverse osmosis, with the local groundwater, captured from Açu aquifer, as control. Among the different types of water used, there was no risk detected related to presence of toxic hydrocarbons; however quantitative variations of salts were observed. The filtered produced water contains salts of sodium and chlorine, and its application to the soil affects the electrical conductivity, the levels of soluble and exchangeable sodium, the sodium adsorption ratio and the percentage of exchangeable sodium in the soil, unfavorable conditions for the balance of biological activity, and compromising medium and long-term productivity of irrigated agroecosystem. The irrigation with the produced water treated by reverse osmosis (desalinated) and the*

*underground water provides substantial increases in sodium content, pH values and CEs topsoil (up to 20 cm deep). Over the three evaluated cycles, the yield of sunflower seeds was not influenced by the water produced in relation to the irrigation with groundwater.*

*Index terms: Helianthus annuus, sodicity, salinization.*



## Introdução

A disponibilidade de água é fator relevante na produção agrícola, e sua escassez é uma realidade em diferentes regiões produtoras, principalmente em países tropicais. A exploração das diferentes fontes é essencial para atender às demandas da sociedade por água e, consequentemente, por alimentos (FAO, 2013). O Brasil tem grandes reservas de água doce superficial, mas há também regiões produtoras com escassez e até falta de água potável. No semiárido nordestino, onde o acesso à água doce superficial é limitado, devem ser exploradas as fontes subterrâneas. De outro modo, tem-se na faixa litorânea dessa região mais de uma centena de campos petrolíferos, que extraem volumes expressivos de água conata, denominada água produzida (AP).

Essa água produzida é oriunda de formações geológicas que contêm petróleo e gás (BENKO; DREWES, 2008). Com a extração do petróleo por longos períodos de tempo, os poços vão envelhecendo e passam a produzir quantidades cada vez maiores de AP, cujo gerenciamento se torna um assunto de importância capital (CAVACO; BARROS, 2005). A proporção do volume de água produzida em relação ao petróleo extraído, de acordo com Thomas (2004), varia de 50% a 100%, ao fim da vida econômica dos poços.

As principais alternativas para o gerenciamento da AP são: a) a reinjeção na mesma formação geológica a partir da qual o óleo foi extraído ou em outra formação; b) o descarte no ambiente após tratamento para atender aos regulamentos da legislação vigente; c) a reutilização na exploração de petróleo e gás; d) o consumo, após o devido tratamento para atender à qualidade exigida, na irrigação de cultivos, restauração de áreas vegetais, produção animal e como água potável (ARTHUR et al., 2005).

Nos campos marítimos de produção de petróleo, a AP é tratada e descartada no mar. Já nos poços terrestres de produção de petróleo, a maior parte da AP é reinjetada nas formações subterrâneas, o que pode levar à redução da sua produção (MOTTA et al., 2013). Essa

reinjeção é uma prática onerosa para as empresas que exploram óleo e gás e só pode ser realizada quando a estrutura subterrânea é capaz de acomodar tal água. Por sua vez, o descarte no ambiente pode causar contaminação das fontes hídricas tanto de superfície quanto do subsolo. Quando utilizada na irrigação, o excesso de sais comumente encontrados na AP pode tornar o solo menos permeável ao ar e à água e reduzir a disponibilidade de nutrientes para as plantas (VEIL et al., 2004). No entanto, o reúso da água produzida, em grande escala, propiciaria o aumento na produção de óleo e minimizaria o descarte de água produzida no meio ambiente (PINHEIRO et al., 2014).

A composição da água produzida é bastante complexa em virtude dos seus constituintes de origem orgânica e inorgânica e varia de poço para poço (ÇAKMAKCI et al., 2008). A concentração de sólidos solúveis totais na AP varia de valores menores que 100 mg L<sup>-1</sup> até 300.000 mg L<sup>-1</sup>, dependendo da localização geográfica, idade e tipo do reservatório de petróleo, com a predominância dos íons Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> (STEWART; ARNOLD, 2011).

Algumas características químicas da água produzida, tais como altos teores de sódio e bicarbonato e baixos teores de metais alcalinos terrosos, podem limitar a sua utilização agrícola (DEJOIA, 2002). O uso da água produzida na irrigação requer a remoção de compostos orgânicos tóxicos e a redução dos sais solúveis para atingir níveis aceitáveis na agricultura (BENKO; DREWES, 2008; IGUNNU; CHEN, 2012). Por sua vez, a AP tem grande valor para irrigação de culturas agrônômicas em regiões com escassez de água superficial. Por essa razão, AP vem sendo usada para irrigação nos Estados Unidos e em outros países (ARTHUR et al., 2005; XU et al., 2008).

No Brasil, existe potencial para aplicação de AP em culturas destinadas à produção de biocombustíveis, como o girassol (*Helianthus annuus* L.). Essa espécie possui boa adaptabilidade climática das regiões subtropical e tropical, tem certa tolerância ao estresse hídrico e produz grãos com alto rendimento de óleo. Porém, alguns estudos têm demonstrado o efeito negativo da irrigação com água salina sobre o

rendimento dessa cultura (MORAIS et al., 2011; NOBRE et al., 2011; TRAVASSOS et al., 2011). Em outros estudos, a cultura é considerada moderadamente tolerante ou moderadamente sensível à salinidade, dependendo se o seu ciclo de crescimento ocorre durante estações com alta ou baixa demanda evaporativa do solo (KATERJI et al., 2000).

O presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da irrigação com a água produzida, tratada por dois sistemas, em características químicas e microbiológicas do solo e sobre o desempenho da cultura do girassol.

### Material e Métodos

O trabalho foi realizado no campo da Fazenda Belém, em Aracati, CE, com 84 m de altitude e coordenadas 4° 44' 45,6" S e 37° 32' 18,4" W. O solo da área experimental foi classificado como Neossolo Quartzarênico de textura arenosa (conteúdo de areia variando de 946 g kg<sup>-1</sup> a 948 g kg<sup>-1</sup>) e de baixa fertilidade natural, conforme análise (Tabela 1).

**Tabela 1.** Valores de pH, teores de elementos do complexo sortivo, capacidade de troca de cátions (T) e a saturação por bases (V) do solo da área experimental.

Hori- zonte <sup>(1)</sup>	Profundidade (m)	pH em água (1:2,5)	Complexo sortivo						T %	V
			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>			
			mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>							
Ap	0–0,18	6,06	18,0	22,0	0,9	0,8	1,0	43,7	77,6	
CA	0,19–0,32	6,12	18,0	18,0	0,2	0,7	9,0	46,9	78,7	
C1	0,33–0,54	6,43	16,0	18,0	0,3	0,8	7,0	53,1	81,4	
C2	0,55–0,87	6,83	12,0	8,0	0,2	0,6	5,0	26,8	77,6	
C3	0,88–1,25	6,83	12,0	8,0	0,2	0,6	5,0	26,8	77,6	
C4	1,26–1,94 +	6,99	8,0	8,0	0,2	0,4	7,0	24,6	64,5	

<sup>(1)</sup> Ap – horizonte arável; CA, C1, C2, C3 e C4 – horizonte mineral, composto por materiais pouco evoluídos diferindo um do outro pela pequena diferença em cor e presença de raízes.

Os tratamentos foram distribuídos sob delineamento experimental em blocos casualizados, sendo eles: água produzida tratada por osmose reversa (APO), água produzida tratada por filtração (APF) e água

do subsolo, captada do aquífero Açu (ACA). Foram utilizadas três repetições, sendo que em cada parcela, com 400 m<sup>2</sup>, foram cultivadas plantas de girassol oleífero, híbrido BRS 321. O cultivo ocorreu em três diferentes ciclos: agosto-novembro de 2012, abril-julho de 2013 e agosto-outubro de 2013. As condições climáticas da região do experimento durante os períodos de cultivo estão na Tabela 2.

**Tabela 2.** Médias mensais de temperatura máxima ( $T_{max}$ ) e mínima ( $T_{min}$ ), umidade relativa do ar (UR), radiação solar (RS), precipitação (P) e evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) observadas nos três ciclos de cultivo do girassol. Aracati, CE, 2012-2013.

Mês/ano	Tmax (Co)	Tmin (Co)	UR (%)	RS (MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	ET <sub>0</sub> (mm d <sup>-1</sup> )	P (mm)
Ciclo 1						
Agosto/12	33,9	21,5	64,3	19,0	5,7	0
Setembro/12	33,3	22,1	66,0	20,9	5,8	0
Outubro/12	33,2	22,8	68,4	22,3	5,9	0
Novembro/12	32,3	23,3	72,1	19,7	5,0	2
Ciclo 2						
Abril/13	33,2	23,5	79,0	19,0	4,2	331
Mai/13	33,5	23,6	78,2	16,8	3,9	22
Junho/13	32,7	22,9	79,4	16,5	3,7	37
Julho/13	32,5	22,0	76,7	17,3	3,9	58
Ciclo 3						
Agosto/13	33,7	22,1	70,4	18,2	4,7	0
Setembro/13	33,3	22,4	70,4	20,6	5,1	0
Outubro/13	33,3	23,1	71,0	22,6	4,6	6

As águas utilizadas na irrigação foram fornecidas pela Petrobras – Unidade de Operação da Fazenda Belém. Mensalmente, foram coletadas amostras dos três tipos de água para análises químicas e físico-químicas, e calculadas as razões de adsorção de sódio (RAS) (Tabela 3).

Durante os períodos de cultivo das plantas, também foram coletadas várias amostras das águas para determinar os teores de BTEX (benzeno,

tolueno, etilbenzeno e os isômeros do xileno) e hidrocarbonetos policíclicos (HPAs), seguindo a metodologia EPA (Environmental Protection Agency) no laboratório de Qualidade Analítica, localizado em Campinas, SP. Nessas últimas análises, não se detectou a presença de hidrocarbonetos aromáticos (limite de detecção foi  $2 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) e nem de HPAs (limite de detecção foi  $2,7 \mu\text{g kg}^{-1}$ ), permitindo assim considerar as águas próprias para irrigação.

No primeiro ciclo de cultivo, antes do plantio, aplicaram-se  $75 \text{ t ha}^{-1}$  de composto orgânico (Pole Fértil, Integral Agroindustrial Ltda.),  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , nas formas de superfosfato simples (18%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e cloreto de potássio (58%  $\text{K}_2\text{O}$ ), respectivamente, distribuídos em sulcos de 0,15 m de profundidade, espaçados de 1,0 m. Além dessa adubação de fundação, aplicaram-se  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na forma de ureia (44% N).

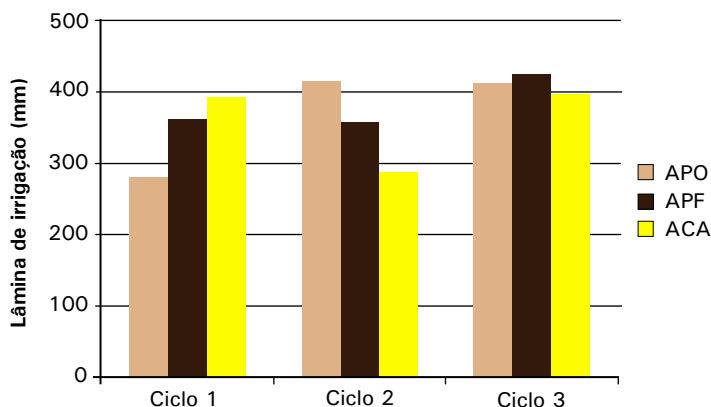
No preparo do solo para os ciclos 2 e 3, reduziu-se a quantidade do composto orgânico para  $25 \text{ t ha}^{-1}$ , mantendo-se inalteradas as dosagens dos demais fertilizantes. No plantio, foram utilizadas mudas produzidas em bandejas com substrato e transplantadas no estádio de três folhas definitivas. O espaçamento adotado no primeiro ciclo foi 1,0 m x 1,0 m, e nos ciclos 2 e 3, 1,0 m x 0,3 m.

A irrigação foi realizada por uma linha de tubo gotejadores por fileira de plantas, com emissores espaçados de 0,3 m e vazão nominal por emissor de  $1,0 \text{ L h}^{-1}$ . A aplicação de água foi iniciada dois dias antes do transplante de mudas, aplicando-se uma lâmina d'água suficiente para umedecer o solo até 1,0 m de profundidade. Nos três ciclos de cultivo, do plantio até à fase de maturação das inflorescências, o manejo da irrigação foi realizado com turno de rega diário e aplicação de lâminas de irrigação suficientes para repor a evapotranspiração da cultura. Nos dois primeiros ciclos do cultivo, houve diferenças entre as lâminas de água aplicadas nos tratamentos em virtude de ajustes na planta industrial da Petrobras, que afetaram principalmente o fornecimento de APO e ACA, no primeiro e segundo ciclos, respectivamente, fato que reflete diretamente nos resultados. No terceiro ciclo de cultivo, o

fornecimento das águas foi regular e as lâminas totais aplicadas foram semelhantes para as três águas (Figura 1).

Antes do primeiro plantio e ao final de cada ciclo de cultivo, foram retiradas amostras de solo (compostas por 10 subamostras), nas fileiras de cultivo, em camadas de 0,2 m, até a profundidade de 1,0 m. O extrato saturado das amostras foi analisado em termos de pH, condutividade elétrica, teores de sódio, potássio, cálcio e magnésio e calculada a razão de adsorção de sódio (RAS). Os teores trocáveis de  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}$  e  $\text{H}^+ + \text{Al}^{+++}$  foram determinados seguindo-se as metodologias descritas por Silva (2009). Para o cálculo dos íons trocáveis ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ ), foram subtraídos os teores dos elementos solúveis obtidos no extrato saturado, de modo a atender às recomendações de Richards (1954).

Em períodos pré e pós-cultivo, foram coletadas ainda amostras do solo superficial (até 0,1 m), ao longo das fileiras de plantas de cada parcela, para avaliação dos atributos microbiológicos (LOPES et al., 2014; AZEVEDO, 2015) e da estrutura da mesofauna edáfica (FERREIRA et al., 2015).



**Figura 1.** Lâminas médias de irrigação aplicadas na cultura do girassol, durante três ciclos consecutivos de produção, usando água produzida tratada por osmose reversa (APO); água produzida tratada por filtração (APF); água do subsolo, captada do aquífero Açu (ACA).

Ao final dos ciclos de cultivo, as plantas úteis de cada parcela (280 m<sup>2</sup>) foram colhidas para avaliação da produção de biomassa seca de raízes e capítulos e do rendimento de grãos. Adicionalmente, amostras do girassol colhido nos diferentes tratamentos de irrigação foram submetidas à análise de BTEX e HPAs no laboratório do Centro de Qualidade Analítica, localizado em Campinas, SP.

Os dados experimentais sobre as características químicas e a produção de girassol foram submetidos à análise de variância, e, quando significativa, as médias das variáveis foram comparadas por meio do teste Tukey, a 5 % de probabilidade.

## Resultados e Discussão

### **Variação dos atributos químicos e físico-químicos das águas durante os ciclos de cultivo**

Todos os atributos químicos e físico-químicos das águas utilizadas na irrigação apresentaram variações com a época de amostragem. Tais variações foram atribuídas às diferenças entre poços de captação. Além disto, as águas APO e APF recebem, durante os processos de filtração, a adição de hidróxido de sódio, para flocular o óleo antes da filtração em filtro de areia. Após isso, parte da água é submetida ao tratamento de osmose reversa para a obtenção da APO. Os resultados analíticos de tais águas são observados na Tabela 3. As Figuras 2 e 3 ilustram as variações ocorridas na CE e no conteúdo de Na durante o período de condução do experimento em campo.

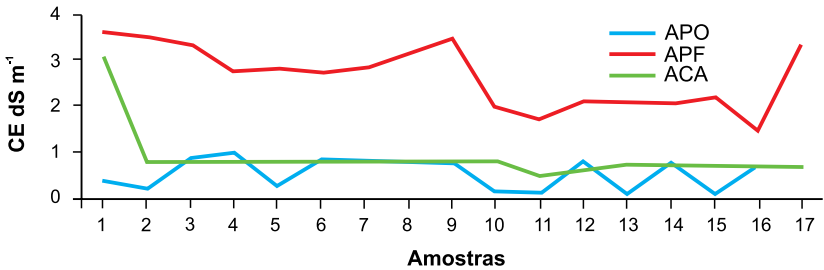
A APF apresentou valores mais altos de  $CE_a$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Mg^+$ ,  $Cl^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^-$  e razão de adsorção de sódio (RAS), em relação às outras duas águas (Tabela 3). Tais variações devem-se aos tratamentos acima especificados. A osmose reversa, por remover parte dos cátions  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  e  $K^+$ , resulta numa substancial diminuição do valor da condutividade elétrica e do pH da APO.

**Tabela 3.** Valores de parâmetros físico-químicos seguidos de desvio-padrão para as águas utilizadas na irrigação do girassol na Fazenda Belém. Aracati, CE, 2012-2013.

Parâmetro	Unidade	Águas <sup>(1)</sup>		
		ACA	APF	APO
pH	-	8,11 ± 0,18	8,46 ± 0,29	7,56 ± 0,54
CE <sub>a</sub>	dS m <sup>-1</sup>	0,69 ± 0,09	2,67 ± 0,59	0,53 ± 0,30
Ca <sup>2+</sup>	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	0,22 ± 0,02	0,16 ± 0,06	0,10 ± 0,10
Mg <sup>2+</sup>	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	0,12 ± 0,04	1,03 ± 1,53	0,29 ± 0,39
Na <sup>+</sup>	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	10,32 ± 6,12	18,48 ± 6,29	4,54 ± 2,77
K <sup>+</sup>	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	0,17 ± 0,18	0,70 ± 0,23	0,40 ± 0,33
Cl <sup>-</sup>	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	3,29 ± 0,71	17,72 ± 6,66	2,42 ± 1,61
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	0,62 ± 0,24	1,43 ± 0,45	0,34 ± 0,40
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	2,79 ± 0,37	3,51 ± 0,69	1,44 ± 1,18
RAS	(mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</sup>	24,98 ± 14,54	43,95 ± 18,12	17,41 ± 10,35

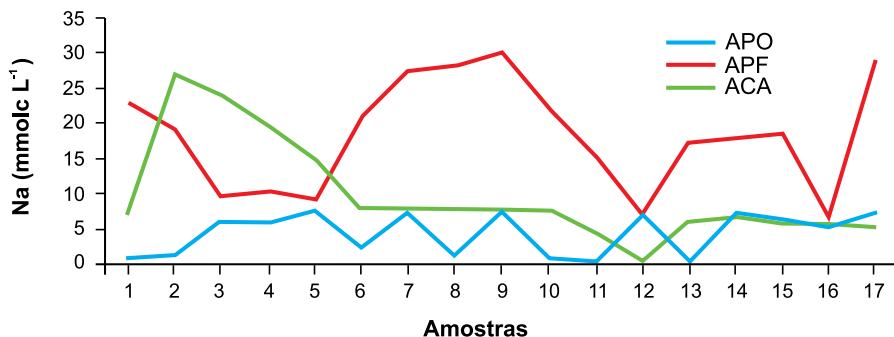
<sup>(1)</sup> APO: água produzida tratada por osmose reversa; APF: água produzida tratada por filtração; ACA: água do subsolo, captada do aquífero Açu.

Nas Figuras 2 e 3, são ilustradas as variações ocorridas com a CE<sub>a</sub>, bem como a de Na encontradas em cada época de amostragem. A curva referente à CE da ACA (Figura 2) apresentou, a partir da segunda coleta, pequenas variações, quando comparada com àquelas das águas APO e APF. Os conteúdos de sódio na água APF (Figura 3) apresentaram variações maiores do que as observadas nas águas APO e ACA, sendo isso atribuído às diferenças entre poços e ao tratamento com hidróxido de sódio antes da filtração.



**Figura 2.** Variação da CE em amostras de água produzida tratada por filtração (APF), captada do aquífero (ACA) e produzida tratada por osmose reversa (APO), em diferentes épocas de amostragem na Fazenda Belém, em Aracati, Ceará.





**Figura 3.** Variação do sódio solúvel em amostras de água produzida tratada por filtração (APF), captada do aquífero (ACA) e produzida tratada por osmose reversa (APO), em diferentes épocas de amostragem na Fazenda Belém, em Aracati, Ceará.

De acordo com os critérios de Rhoades et al. (2000), duas das águas utilizadas (APO e ACA) não são salinas, em termos da concentração total de sais, enquanto a APF é moderadamente salina. Considerando as diretrizes da FAO (AYERS; WESTCOT, 1985), a APF apresenta grau de restrição moderado para irrigação, com relação à salinidade ( $CE_s$ ), e grau de restrição severo, com relação aos teores de Na e Cl, e risco de sodificação do solo (RAS). Por sua vez, as duas águas não salinas (ACA e APO) também apresentam grau de restrição severo, quanto à RAS, restrição moderada quanto ao teor de Na e nenhuma restrição quanto à  $CE_s$  e ao teor de Cl. Além disso, de acordo com a classificação de Richards (1954), existe baixo risco de salinização do solo pelo uso de APO, médio para ACA e alto para APF. Por sua vez, do ponto de vista da sodicidade do solo, existe alto risco para APO e ACA e risco muito alto para a irrigação com APF.

De outro modo, a irrigação de áreas com águas salinas já é aceita em algumas regiões produtoras dos Estados Unidos, como nos vales dos rios Arkansas, Colorado, Salgado e Pecos, e o mesmo ocorre em regiões produtoras de outros países, como Tunísia e Israel (AYERS; WESTCOT, 1985). As águas para irrigação nessas regiões apresentam  $CE_s$  variando de 3,0 dS m<sup>-1</sup> a 7,5 dS m<sup>-1</sup>.

## Salinidade e sodicidade do solo

A irrigação com as águas produzidas (APF e APO) e do subsolo (ACA) afetou a condutividade elétrica ( $CE_{es}$ ), o teor de sódio e a razão de adsorção de sódio (RAS) do extrato saturado do solo cultivado com o girassol em diferentes camadas (Tabelas 4 a 8). O pH do extrato saturado do solo não apresentou variações significativas entre os ciclos de cultivo, bem como pelos tipos de água. Contudo, notou-se que na condição original ( $T_0$ ), os valores de pH foram inferiores devido à não irrigação de água alcalina. Com relação à porcentagem de sódio trocável (PST) do solo, observou-se variação para as profundidades e os ciclos de produção.

Após o primeiro ciclo de cultivo, foi verificado aumento no pH do extrato saturado no solo submetido aos diferentes tratamentos de irrigação, em relação ao  $T_0$ , mantendo-se acima de 7,5 nas camadas analisadas (Tabelas 4 a 8).

Na comparação do pH de extrato saturado do solo antes do cultivo (não irrigado) com o do solo irrigado, observa-se que as variações encontradas são semelhantes às das águas utilizadas. O abaixamento do pH do extrato saturado será possível com o abaixamento do pH da água pelo tratamento com ácido (nitríco, sulfúrico, fosfórico). Com relação à porcentagem de sódio trocável (PST) do solo, observou-se variação para as profundidades e os ciclos de produção.

Após o primeiro ciclo de cultivo do girassol, foram observados aumentos expressivos nos valores de  $CE_{es}$ ,  $Na^+$ , RAS e PST em relação ao solo não cultivado em período anterior ( $T_0$ ), em todas as camadas e tratamentos (Tabelas 4 a 8).

**Tabela 4.** Valores médios de pH, CE, teor de Na solúvel, RAS do extrato saturado, PST do solo na camada de 0 cm a 20 cm, antes do plantio ( $T_0$ ) e ao final dos três ciclos de cultivo do girassol irrigado com três tipos de água.

Água <sup>(1)</sup>	T <sub>0</sub>	Ciclo de cultivo			Média
		1	2	3	
----- pH -----					
APO	-	8,14	8,15	7,69	7,99A
APF	-	8,53	8,44	8,07	8,34 A
ACA	-	8,37	8,18	8,30	8,28A
Média	6,33	8,35 a	8,26 a	8,02 a	-
CE <sub>es</sub> (dS m <sup>-1</sup> )					
APO	-	2,05	0,69	2,12	1,62B
APF	-	5,34	0,99	3,89	3,41 A
ACA	-	1,96	0,61	2,88	1,82 B
Média	0,17	3,11 a	0,76 b	2,96 a	-
Na (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )					
APO	-	7,80 aB	4,54 aA	14,26 aA	8,87
APF	-	40,43 aA	8,93 aA	28,30 bA	25,89
ACA	-	14,53 aB	4,49 aA	24,28 aA	10,96
Média	0,56	20,92	5,96	22,28	
RAS (mmol <sub>c</sub> L) <sup>0,5</sup>					
APO	-	2,69	3,76	7,18	4,54 B
APF	-	19,13	10,50	16,05	12,63 A
ACA	-	6,56	4,64	9,14	5,88 B
Média	0,55	5,96 a	6,30 a	10,79 a	-
PST (%)					
APO	-	4,19 aB	6,29 aA	7,79 aA	6,09
APF	-	35,29 aA	4,67 cA	11,93 bA	17,30
ACA	-	9,96 aB	5,51 aA	13,54 aA	9,67
Média	0,43	16,48	5,49	11,09	-

Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

<sup>(1)</sup> APO: água produzida tratada por osmose reversa; APF: água produzida tratada por filtração; ACA: água do subsolo, captada do aquífero Açú.

**Tabela 5.** Valores médios de pH, CE, teor de Na solúvel, RAS do extrato saturado, PST do solo na camada de 20 cm a 40 cm, antes do plantio ( $T_0$ ) e ao final dos três ciclos de cultivo do girassol irrigado com três tipos de água.

Água <sup>(1)</sup>	T <sub>0</sub>	Ciclo de cultivo			Média
		1	2	3	
----- pH -----					
APO	-	8,05	8,35	8,20	8,20 A
APF	-	8,22	8,11	8,36	8,23 A
ACA	-	8,43	8,02	8,48	8,31 A
Média	6,52	8,24 a	8,16 a	8,35 a	-
CE <sub>es</sub> (dS m <sup>-1</sup> )					
APO	-	1,60	0,59	1,54	1,24 B
APF	-	2,36	0,80	1,21	1,46 A
ACA	-	1,24	0,43	1,41	1,03 B
Média	0,11	1,73 a	0,61 c	1,39 b	
Na (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )					
APO	-	1,17 aC	2,25 aA	1,72 aA	1,71
APF	-	5,72 aA	1,26 bA	2,92 bA	3,23
ACA	-	3,25 aB	1,06 bA	2,56 aA	2,29
Média	0,11	3,31	1,52	2,40	-
RAS (mmol <sub>c</sub> L) <sup>0,5</sup>					
APO	0,57	2,22	4,34	7,14	4,57 B
APF	0,63	31,77	13,35	13,40	19,51 A
ACA	0,44	8,49	6,47	16,75	16,75 A
Média	0,55	14,16 a	8,05 a	12,43 a	-
PST (%)					
APO	-	22,87 aC	8,50 aA	15,44 aA	15,60
APF	-	30,77 aA	9,57 bA	19,09 bA	19,81
ACA	-	17,20 aB	20,99 bA	8,77 aA	15,651
Média	0,63	23,61	13,02	14,43	-

Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

<sup>(1)</sup> APO: água produzida tratada por osmose reversa; APF: água produzida tratada por filtração; ACA: água do subsolo, captada do aquífero Açú.

**Tabela 6.** Valores médios de pH, CE, teor de Na solúvel, RAS do extrato saturado, PST do solo na camada de 40 cm a 60 cm, antes do plantio (T<sub>0</sub>) e ao final dos três ciclos de cultivo do girassol irrigado com três tipos de água.

Água <sup>(1)</sup>	T <sub>0</sub>	Ciclo de cultivo			Média
		1	2	3	
----- pH -----					
APO	-	7,66	8,14	8,11	7,97 A
APF	-	8,13	8,27	8,24	8,21 A
ACA	-	8,23	7,88	8,27	8,13 A
Média	6,66	8,01 a	8,10 a	8,21 a	-
CE <sub>es</sub> (dS m <sup>-1</sup> )					
APO	-	0,48	0,37	0,55	0,47 B
APF	-	1,48	0,77	1,06	1,10 A
ACA	-	0,55	0,32	0,78	0,55 B
Média	0,08	0,84 a	0,49 b	0,79 a	-
Na (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )					
APO	-	9,93 aC	6,91 aB	6,008 aA	7,61
APF	-	3,99 aA	2,70 bA	6,19 cA	4,29
ACA	-	1,57 aB	2,63 bB	3,751 bA	2,65
Média	0,48	5,16	4,08	5,31	-
RAS (mmol <sub>c</sub> L) <sup>0,5</sup>					
APO	-	1,23	4,73	8,13	4,70 B
APF	-	11,35	12,99	11,16	11,68 A
ACA	-	7,57	6,89	12,81	9,65 A
Média	0,67	7,27 a	8,04 a	10,70 a	-
PST (%)					
APO	-	2,14 bC	4,08 bC	11,56 aA	5,93
APF	-	33,06 aA	24,44 bA	15,46 bA	24,32
ACA	-	19,53 aB	12,27 aB	11,93 aA	14,58
Média	0,78	18,24	13,60	12,98	-

Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

<sup>(1)</sup> APO: água produzida tratada por osmose reversa; APF: água produzida tratada por filtração; ACA: água do subsolo, captada do aquífero Açú.

**Tabela 7.** Valores médios de pH, CE, teor de Na solúvel, RAS do extrato saturado, PST do solo na camada de 60 cm a 80 cm, antes do plantio (T<sub>0</sub>) e ao final dos três ciclos de cultivo do girassol irrigado com três tipos de água.

Água <sup>(1)</sup>	T <sub>0</sub>	Ciclo de cultivo			Média
		1	2	3	
----- pH -----					
APO	-	7,91	8,19	6,54	7,55 A
APF	-	7,96	8,21	6,07	7,41 A
ACA	-	8,00	7,93	6,33	7,42 A
Média	6,64	7,96 a	8,11 a	6,31 a	-
CE <sub>es</sub> (dS m <sup>-1</sup> )					
APO	-	1,06	0,48	1,07	0,87 A
APF	-	1,04	0,72	0,85	0,87 A
ACA	-	0,39	0,39	0,75	0,51 B
Média	0,08	0,83 ab	0,53 b	0,89 a	-
Na (mmol <sub>c</sub> Lg <sup>-1</sup> )					
APO	-	3,59 aC	3,36 aB	7,29 bA	0,62
APF	-	7,43 aA	6,23 bA	4,09 bB	2,40
ACA	-	2,95 aB	3,17 bB	5,19 bB	1,56
Média	0,40	2,18	1,30	1,10	-
RAS (mmol <sub>c</sub> L) <sup>0,5</sup>					
APO	-	1,68 bC	4,29 abC	7,59 aA	4,24
APF	-	11,12 aA	12,52 aA	6,78 bA	10,14
ACA	-	5,99 aB	7,31 aAB	8,23 aA	7,12
Média	0,56	6,26	7,98	7,66	-
PST (%)					
APO	-	4,01 bC	3,40 bC	9,00 aA	5,47
APF	-	30,63 aA	22,81 bA	12,07 cA	21,84
ACA	-	21,95 aB	9,99 bB	11,38 bA	14,44
Média	0,72	18,86	12,06	10,82	-

Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

<sup>(1)</sup> APO: água produzida tratada por osmose reversa; APF: água produzida tratada por filtração; ACA: água do subsolo, captada do aquífero Açú.

**Tabela 8.** Valores médios de pH, CE, teor de Na solúvel, RAS do extrato saturado, PST do solo na camada de 80 cm a 100 cm, antes do plantio (T<sub>0</sub>) e ao final dos três ciclos de cultivo do girassol irrigado com três tipos de água.

Água <sup>(1)</sup>	T <sub>0</sub>	Ciclo de cultivo			Média
		1	2	3	
----- pH -----					
APO	-	7,71	8,06	6,33	7,37 A
APF	-	7,67	8,25	5,53	7,15 A
ACA	-	7,80	8,08	6,07	7,32 A
Média	6,72	7,74 a	8,13 a	5,98 a	-
CE <sub>es</sub> (dS m <sup>-1</sup> )					
APO	-	1,67	2,04	4,06	2,59 B
APF	-	8,67	6,12	4,92	6,57 A
ACA	-	4,43	3,78	4,72	4,31 B
Média	0,35	4,92 a	3,98 a	4,57 a	-
Na (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )					
APO	-	0,41	0,48	1,02	0,64 C
APF	-	2,58	2,47	1,46	2,17 A
ACA	-	1,95	1,20	0,99	1,38 B
Média	0,10	1,65 a	1,38 a	1,16 a	-
RAS (mmol <sub>c</sub> L) <sup>0,5</sup>					
APO	-	1,11	2,85	4,29	2,75 B
APF	-	13,34	13,34	8,18	11,62A
ACA	-	7,22	7,22	6,24	6,73 A
Média	0,58	7,23 a	7,80 a	6,24 a	-
PST (%)					
APO	-	3,99	3,69	9,36	5,68 C
APF	-	21,19	24,62	13,40	19,74 A
ACA	-	17,38	8,10	11,62	12,37 B
Média	0,84	14,19 a	12,14 a	11,46 a	-

Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

<sup>(1)</sup> APO: água produzida tratada por osmose reversa; APF; água produzida tratada por filtração; ACA: água do subsolo, captada do aquífero Açu.

Em geral, o solo irrigado com a APF apresentou valores mais altos de  $CE_{es}$  em relação ao solo irrigado com a APO e o controle (ACA), em todas as camadas (Tabelas 4 a 8). Já o solo irrigado com a APO não diferiu do tratamento controle com relação ao teor de  $CE_{es}$ . O efeito do tipo de água sobre o teor de  $Na^+$  variou de acordo com o ciclo de cultivo e a camada do solo analisado. Nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm, houve diferenças entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ) com relação ao teor de  $Na^+$  apenas após o primeiro ciclo de cultivo, com o tratamento APF apresentando valores mais altos, seguido do tratamento ACA. Nas camadas de 40-60 cm e 60-80 cm houve diferenças entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ) quanto ao teor de  $Na^+$  após o primeiro e o segundo ciclo, com o tratamento APF apresentando maior valor em relação aos demais.

Com relação à RAS do extrato saturado, o solo irrigado com a APF apresentou médias significativamente superiores às do solo irrigado com a APO, em todas as camadas, mas não superiores à testemunha (ACA) nas camadas de 40-60 cm e 80-100 cm (Tabelas 4 a 8).

O comportamento da PST do solo, após a irrigação com as três águas, variou de acordo com o ciclo de cultivo e a profundidade do solo (Tabelas 4 a 8). Nas camadas de 0-20 cm e de 20-40 cm, houve diferenças significativas entre os tratamentos somente após o primeiro ciclo de cultivo, em que a irrigação com a APF elevou a PST do solo a níveis mais altos que a irrigação com a APO e a ACA. Já nas camadas de 40-60 cm e 60-80 cm, o solo irrigado com a APF apresentou níveis mais altos de PST em relação à irrigação com a ACA e a APO após o primeiro e o segundo ciclos de cultivo. Na camada de 80 cm a 100 cm, independentemente do ciclo de cultivo, o solo irrigado com a APF apresentou maior PST em relação ao controle (ACA), seguida da irrigação com a APO.

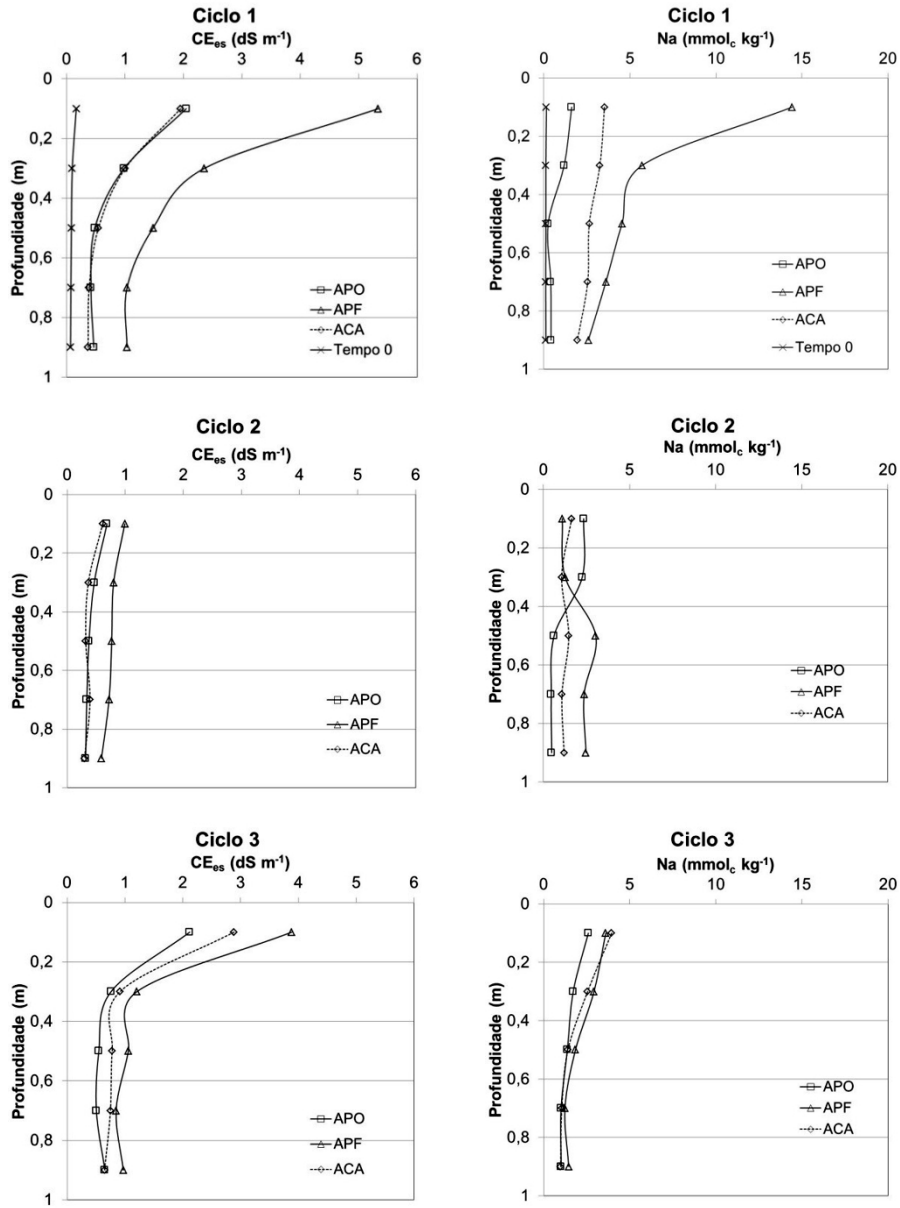
As diferenças de salinidade e sodicidade do solo quando irrigado com a APF em relação às demais águas, principalmente no primeiro ciclo de cultivo, refletem as diferenças de qualidade da água. Uma vez que as águas APO e ACA apresentam valores de  $CE_a$  e RAS semelhantes e inferiores aos valores detectados na APF (Tabela 3), isso se refletiu na salinidade e sodicidade do solo após o primeiro cultivo.



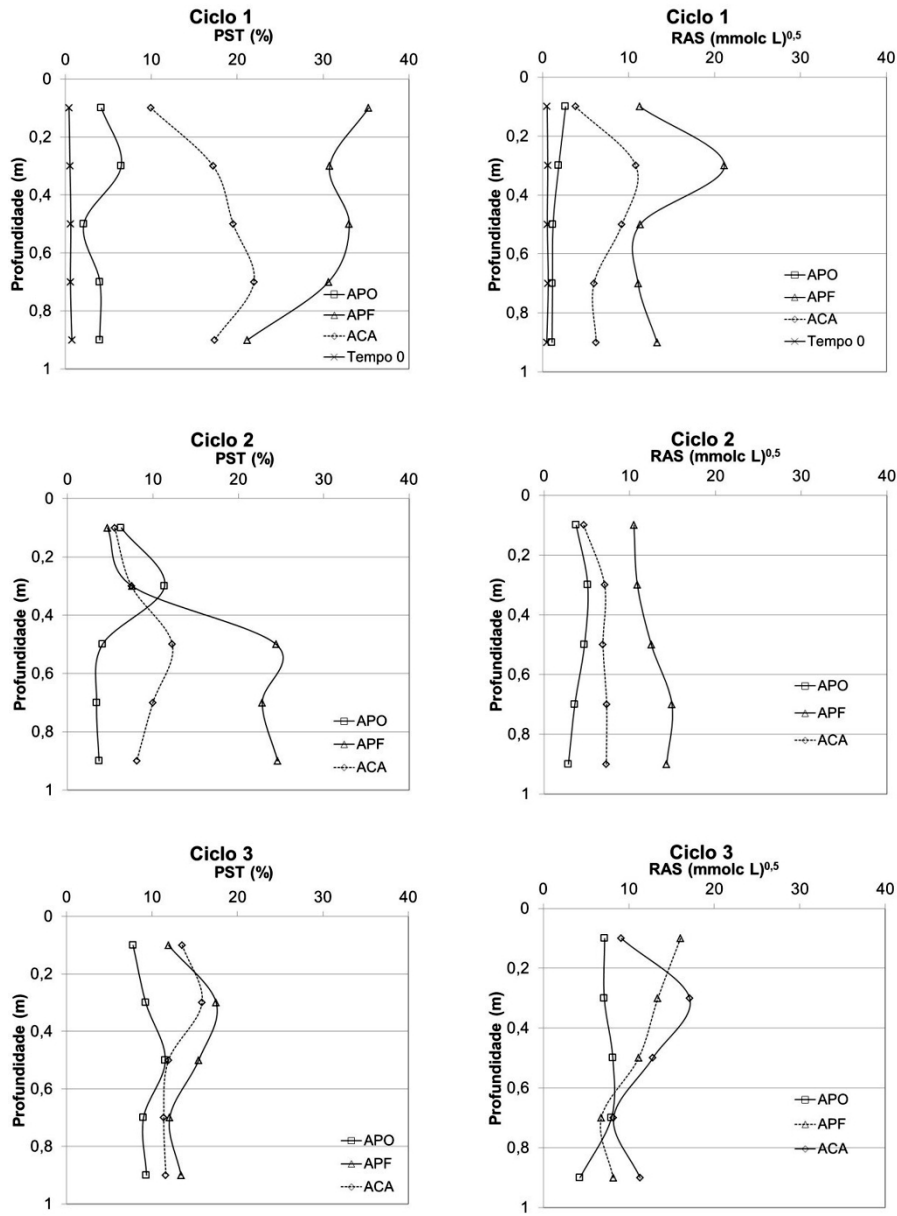
Ao final do segundo ciclo de cultivo, observou-se redução da salinidade e sodicidade do solo nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm em relação ao primeiro ciclo, nos tratamentos APF e ACA (Tabelas 4 e 5). No tratamento APO, a salinidade foi reduzida, enquanto a sodicidade continuou elevada. Considerando a textura arenosa do solo e a profundidade do lençol freático ( $> 50$  m), tal redução pode ser atribuída à lixiviação dos sais, ocorrida durante a estação chuvosa (fevereiro a maio de 2013), quando foi medida uma precipitação total de 511 mm. A lixiviação dos sais foi mais acentuada no solo irrigado com a APF, o qual apresentou maior salinidade ao final do primeiro ciclo de cultivo (Tabelas 4 a 8). Devido à precipitação pluvial, resultados semelhantes foram relatados por Assis Júnior et al. (2007) em solo com textura variando de franco-arenosa para franco-argilo-arenoso e volume de chuva de 1.129 mm.

No terceiro ciclo de cultivo do girassol, ocorrido durante o período de seca, os valores de  $\text{Na}^+$  e  $\text{CE}_{\text{es}}$  até 40 cm de profundidade do solo aumentaram em todos os tratamentos, em comparação com o segundo ciclo (Tabelas 4 e 5). No entanto, no tratamento com a água de maior salinidade (APF), os valores de  $\text{Na}^+$  e  $\text{CE}_{\text{es}}$  foram menores do que no primeiro ciclo. Já nos tratamentos APO e ACA, houve acúmulo de  $\text{Na}^+$  e aumento da  $\text{CE}_{\text{es}}$  no perfil do solo, com os ciclos de cultivo. Dessa forma, ao final do terceiro ciclo, as diferenças entre os tratamentos, em termos de salinidade no perfil do solo, foram reduzidas, principalmente na camada de 0,4 m a 1,0 m de profundidade (Tabelas 6, 7 e 8). Em geral, os maiores valores de  $\text{CE}_{\text{es}}$  e de  $\text{Na}^+$  foram observados nas camadas mais superficiais do solo (até 40 cm), principalmente nos ciclos 1 e 3 (Figura 3).

Com relação à PST do solo, as diferenças entre os tratamentos também diminuíram ao final do terceiro ciclo de cultivo, não se observando diferenças significativas entre eles até a profundidade de 80 cm (Figura 4).



**Figura 3.** Condutividade elétrica (à esquerda) e teor de sódio (à direita) do extrato de solo saturado, em função da profundidade e do tipo de água utilizado na irrigação, ao final dos três ciclos de cultivo de girassol.



**Figura 4.** Porcentagem de sódio trocável (PST) e razão de adsorção de sódio (RAS) do solo em função da profundidade e do tipo de água utilizado na irrigação, ao final dos três ciclos de cultivo de girassol.

Tendo em vista os resultados obtidos e levando-se em consideração fatores que favorecem a lixiviação dos sais do perfil do solo, como a textura arenosa, a profundidade do lençol freático e a precipitação pluvial, pode-se afirmar que é possível manter a salinidade do solo dentro de faixas adequadas para culturas moderadamente sensíveis à salinidade, sob a irrigação com a água produzida. Eventualmente, uma elevação da porcentagem de sódio trocável (PST) do solo pode ser remediada por meio da aplicação de gesso, que aumenta a disponibilidade de Ca trocável no solo (HOLANDA et al., 1998; VITAL et al., 2005; MANZANO BANDA et al., 2014). Tal corretivo, embora seja de baixa solubilidade em água é utilizado como fonte de cálcio para substituir o sódio, além de fornecer enxofre para as plantas (MANZANO BANDA et al., 2014).

## Microbiologia do solo

Para os atributos biológicos do solo, foi constatado um efeito prejudicial da água produzida já no primeiro ciclo de produção de girassol. O solo que recebeu APO propiciou menor proliferação de fungos filamentosos e bactérias cultiváveis do solo em relação ao tratamento com ACA (Tabela 9). Vale notar que a APO recebeu, durante o processo de tratamento na indústria, a adição de glutaraldeído, um biocida que provavelmente não foi eliminado no processo de filtração e tratamento por osmose reversa. Esse processo industrial é bastante oneroso e pode não ser adequado para o reúso da água produzida e tratada na agricultura. O impacto negativo sobre a população de fungos filamentosos observado em solo irrigado com APF pode ser devido ao elevado teor de sais, principalmente os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , os quais podem influenciar na atividade de microrganismos do solo.

**Tabela 9.** Unidades formadoras de colônias de fungos filamentosos e bactérias totais e atividade da desidrogenase do solo superficial (0-10 cm) ao final do primeiro ciclo de cultivo do girassol irrigado com três tipos de água.

Água <sup>(1)</sup>	Fungos (x 10 <sup>3</sup> )	I <sup>(2)</sup> (%)	Bactérias (x 10 <sup>6</sup> )	I (%)	Desidrogenase (μL de H. g <sup>-1</sup> solo)	I (%)
APO	4,008	-11,7	1,148	-70,0	2,017	-61,0
APF	4,365	-3,8	4,365	14,0	8,812	70,6
ACA	4,539	-	3,828	-	5,165	-
Média	4,304	-	3,114	-	5,331	-

<sup>(1)</sup>APO: água produzida tratada por osmose reversa; APF: água produzida tratada por filtração; ACA: água do subsolo, captada do aquífero Açu.  
<sup>(2)</sup>Incremento = 100 [(valor da variável com água produzida (APO ou APF) – controle (ACA)) (ACA-1)]  
Fonte: Adaptado de Lopes et al. (2014).

Esses resultados sobre a microbiota edáfica levam a sugerir que a biota do solo precisa ser monitorada em áreas sujeitas à aplicação de água produzida por períodos prolongados de tempo.

**Produção do girassol**

Nos grãos de girassol secos ao ar, não se detectaram níveis de BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e os isômeros do xileno) e hidrocarbonetos poliaromáticos (HPAs) que justificassem qualquer preocupação com as águas. Somente em grãos oriundos do primeiro ciclo foi detectada a presença de benzeno ( $\leq 6 \mu\text{g kg}^{-1}$  de uma amostra de sementes), independentemente dos tratamentos de irrigação. Contudo, o fato de esse e outros hidrocarbonetos tóxicos não terem sido detectados nos grãos oriundos dos ciclos 2 e 3 não significa que eles não devam ser monitorados numa irrigação em escala com água produzida.

Os tratamentos de irrigação com as diferentes águas afetaram a produção das plantas ao longo dos ciclos de cultivo (Tabela 10). A produção de biomassa das plantas foi, em geral, superior durante o primeiro ciclo de cultivo, o que pode ser devido à menor densidade do plantio ( $10.0000 \text{ plantas ha}^{-1}$ ), comparado com a densidade de plantas

dos ciclos 2 e 3 (33.300 plantas ha<sup>-1</sup>), permitindo menor competição entre as plantas por água, luz e nutrientes do solo. A densidade de plantio também afetou a rendimento de grãos, que foi mais baixo no primeiro ciclo em comparação com o segundo e terceiro ciclos.

**Tabela 10.** Biomassa seca e produção de plantas de girassol irrigadas com diferentes águas, durante três ciclos de cultivo.

Água <sup>(1)</sup>	Ciclo			Média
	1	2	3	
Massa seca de raízes (g planta <sup>-1</sup> )				
APO	31,20 aA	6,47 bA	9,19 bA	15,61
APF	18,87 aB	6,38 bA	7,99 bA	11,08
ACA	25,73 aA	6,73 bA	7,75 bA	13,41
Média	25,27	6,53	8,31	-
Massa seca do capítulo (g planta <sup>-1</sup> )				
APO	134,66 aA	22,17 bA	19,04 bA	58,62
APF	97,43 aB	17,31 bA	16,53 bA	43,76
ACA	125,16 aA	20,46 bA	17,09 bA	54,24
Média	119,08	19,98	17,55	-
Rendimento de grãos (kg ha <sup>-1</sup> )				
APO	652,7cA	1368,9bA	1604,6aA	1208,7
APF	468,8bA	1486,2aA	1347,8aAB	1100,9
ACA	499,4bA	1481,4aA	1224,9aB	1068,6
Média	540,3	1445,5	1392,4	-

Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

<sup>(1)</sup>APO: água produzida tratada por osmose reversa; APF: água produzida tratada por filtração; ACA: água do subsolo, captada do aquífero Açu.

Foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos em termos de biomassa do girassol, durante o primeiro ciclo de produção (Tabela 10). Nesse ciclo, plantas irrigadas com a APO produziram biomassa de raízes e de capítulos florais semelhante à observada no tratamento com ACA, ambas superiores à obtida com a APF. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de ACA e APO apresentarem salinidades semelhantes (CE<sub>a</sub> de 0,53 dS m<sup>-1</sup> e 0,72 dS m<sup>-1</sup>). Já a irrigação

com a APF, de salinidade mais elevada ( $CE_a$  de 2,67 dS  $m^{-1}$ ), propiciou aumentos da salinidade e da sodicidade do solo ( $CE_{es}$ , Na e PST), com consequente redução no crescimento e na produção de biomassa das plantas de girassol, no primeiro ciclo de cultivo.

Esse comportamento era esperado, pois a cultura do girassol é considerada moderadamente sensível à salinidade. Isso significa que os rendimentos da cultura podem sofrer redução com a utilização de água de irrigação, cuja condutividade elétrica seja superior a 1,1 dS  $m^{-1}$ . Assim, a irrigação com água de salinidade semelhante à APF causaria uma redução de 10% a 40% no rendimento do girassol por não ser a água adequada para o híbrido estudado. Segundo Katerji et al. (2000), acima do limite de 0,5 dS  $m^{-1}$ , há uma redução média de 8,7% na produtividade do girassol para cada unidade de aumento da  $CE_a$  da água de irrigação.

O efeito negativo da irrigação com água salina sobre a produção de biomassa de plantas de girassol também foi observado por Travassos et al. (2011; 2012) e Nobre et al. (2011). Entretanto, as oleaginosas podem responder de forma diferente à irrigação e à salinidade do solo. Entre os mecanismos de tolerância, citam-se baixa absorção de  $Cl^-$ , alta absorção de  $K^+$ , manutenção de alta relação K:Na e seletividade de  $K^+$  em relação ao  $Na^+$  nas folhas e, possivelmente, o acúmulo de carboidratos solúveis, proteínas solúveis, prolina e aminoácidos livres (MORAIS et al., 2011; ASHRAF; TUFAIL, 1995).

Sob condições de alta taxa de evapotranspiração, a cultura do girassol oleífero pode ser considerada moderadamente sensível à salinidade. No entanto, sob condições de baixa demanda evapotranspirativa, a cultura pode ser tolerante à salinidade, de modo semelhante ao trigo e à beterraba (KATERJI et al., 2000). Segundo Sarmento (2011), a cultura do girassol mostra-se tolerante à irrigação com água de  $CE_a$  até 3,5 dS  $m^{-1}$ .

## Conclusões

A irrigação com água produzida filtrada (APF) aumenta o risco de salinização e sodificação do solo, uma vez que propicia valores mais altos de  $CE_{es}$  até 1,0 m de profundidade, além da tendência de aumentar a porcentagem de sódio trocável (PST) e a razão de adsorção de sódio (RAS).

As águas produzidas APF e APO afetam negativamente os atributos biológicos do solo.

A utilização das águas produzidas APF e APO não interfere negativamente na produção do girassol 'BRS 321'.

## Agradecimentos

À Petrobras – Petróleo Brasileiro S.A., pelo apoio financeiro e logístico para a realização da pesquisa.



# Referências

- ARTHUR, J. D.; LANGHUS, B. D.; PATEL, C. **Technical summary of oil & gas produced water treatment technologies**. Tulsa: ALL Consulting LLC, 2005. 53 p.
- ASHRAF, M.; TUFAIL, M. Variation in salinity tolerance in sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.174, p. 351-362, 1995.
- ASSIS JUNIOR, J. O.; LACERDA, C. F. E. de; SILVA, F. B. da; SILVA, F. L. B. da; BEZERRA, M. A.; GHEYI, H. R. Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo em função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 702-713, 2007.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. Roma: FAO, 1985. 174 p. (Irrigation and Drainage Paper, 29).
- AZEVEDO, A. C. M.; **Atributos biológicos do solo e da rizosfera de oleaginosas irrigadas com água produzida no semiárido**. 2015. 63 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) Universidade Estadual do Ceará.
- BENKO, K. L.; DREWES, J. E. Produced water in the United States: geographical distribution, occurrence and composition. **Environmental Engineering Science**, v. 25, n. 2, p. 239-246, 2008.
- ÇAKMAKCI, M.; KAYAALP, N.; KOYUNCU. I. Desalination of produced water from oil production fields by membrane processes. **Desalination**, v. 222, p. 176-186, 2008.
- CAVACO, P. C. C.; BARROS, A. B. Gestão de efluentes e recursos hídricos em campos de produção de petróleo terrestres. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 2., 2005. Disponível em: <<http://www.aedb.br/seget/arquivos/>

artigos05/378\_GESTAO%20DE%20EFLUENTES%20P%20Cavaco.pdf> . Acesso em: 11 set. 2015.

DEJOIA, A. J. Developing sustainable practices for CBM-Produced water irrigation. In: GROUND WATER PROTECTION COUNCIL PRODUCED WATER CONFERENCE, 2002, Colorado Springs. **Abstracts...** Colorado Springs, [s.n.], 2002.

FAO. **FAO Statistical Yearbook 2013: world food and agriculture**. Rome, 2013. 289 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e.PDF>> . Acesso: 11 set. 2015.

FERREIRA, R. N. C.; WEBER, O. B.; CRISOSTOMO, L. A. Produced water irrigation changes the soil mesofauna community in a semiarid agroecosystem. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, p. 520-528, 2015.

HOLANDA, J. S.; VITTI, G. C.; SALVIANO, A. A. C.; MEDEIROS, J. D. F.; AMORIN, J. R. A. Alterações nas propriedades químicas de um solo aluvial salino-sódico decorrentes da subsolagem e do uso de condicionadores. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 387-394, 1998.

IGUNNU, E. T.; CHEN, G. Z. Produced water treatment technologies. *International Journal of Low-Carbon Technology*, v. 9, n. 3, p. 157-177, 2012.

KATERJI, N.; VAN HOORN, J. W.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M. Salt tolerance classification of crops according to soil salinity and to water stress day index. **Agricultural Water Management**, v. 43, p. 99-109, 2000.

LOPES, E. D. O. R.; WEBER, O. B.; CRISOSTOMO, L. A.; MATTOS, E. N. B. Short-term effects of produced water on microbial activity in semiarid soil. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 3, p. 395-403, 2014.

MANSANO BANDA, J. I.; RIVERA ORTIZ, P.; BRIONES ENCINIA, F.; ZAMORA TOVAR, C. Rehabilitación de sulos salino-sódicos: estudio de caso en el Sistrito de Riego 086, Jiménez, Tamaulipas, México. **Terra Latino Americana**, v. 32, n. 3, 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v32n3/2395-8030-tl-32-03-00211.pdf>> . Acesso em: 19 ago. 2014.

MORAIS, F. A.; GURGEL, M. T. OLIVEIRA, F. H. T.; MOTA, A. F. Influência da irrigação com água salina na cultura do girassol. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 327-336, 2011. Disponível em: <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/1738/576>> . Acesso em 20 ago. 2015.

MOTTA, A. R. P.; BORGES, C. P.; KIPERSTOCK, A.; ESQUERRE, K. P., ARAÚJO, P. M. BRANCO, L. P. N. Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo

por processos de separação por membranas: revisão. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.18, p.15-26, 2013.

NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; CARDOSO, J. A. F. Produção de girassol sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 929-937, 2011.

PINHEIRO, R.; TRAVALLONI, A. M.; MELO JUNIOR, G.; CRISOSTOMO, L. A.; AQUINO, O.; ORLANDO, A. E. Projeto piloto de irrigação com água produzida no campo de fazenda Belém. In: RIO OIL & GAS - EXPO AND CONFERENCE, 2014, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: IBP, 2014. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/111139/1/AAC14001.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Campina Grande: UFPB, 2000. 117 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 48).

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**, Washington DC: US Salinity Laboratory, 1954. 160 p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).

SARMENTO, D. H. A. **Produção e evapotranspiração do girassol submetido a diferentes lâminas de irrigação e salinidade da água**. 2011. 59 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semiárido.

SILVA, F. C. da. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627 p.

STEWART, M.; ARNOLD, K. **Produced water treatment field manual**. Waltham: Gulf, 2011. 260 p.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004, 271 p.

TRAVASSOS, K. D.; SOARES, F. A. L.; GHEYI, H. R.; SILVA, D. R. S.; NASCIMENTO, A. K. S.; DIAS, N. S. Produção de aquênio do girassol irrigado com água salobra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.371-376, 2011. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662011000400007&lng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662011000400007&lng=pt)>. Acesso em: 20 ago. 2014.

TRAVASSOS, K. D.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; BARROS, H. M.; DIAS, N. da S.; UYEDA, C. A.; SILVA, F. V. da. Crescimento e desenvolvimento de variedades de girassol irrigado com água salina. **Irriga Botucatu**, Edição Especial, p. 324-339, 2012.

VEIL, J. A.; PUDER, M. G.; ELCOCK, D.; REDVEIK, R. J. **A white paper describing produced water from production of crude oil, natural gas, and coal bed methane**. Albany: U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, 2004. 78 p.

VITAL, A. de F. M.; SANTOS, R. V. dos; CAVALCANTE, L. F.; SOUTO, J. S. Comportamento de atributos químicos de um solo salino-sódico tratado com gesso e fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 1, 2005. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662005000100005](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662005000100005)>. Acesso em: 21 ago. 2014.

XU, P.; DREWES, J. E.; HEIL, D. Beneficial use of co-produced water through membrane treatment: technical-economic assessment. **Desalination**, v. 225, p. 139-155, 2008.



---

*Agroindústria Tropical*



MINISTÉRIO DA  
**AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO**

